

NITRIFICATION ET DENITRIFICATION

DANS L'ESTUAIRE DE L'ESCAUT.

Martine SOMVILLE.

Nous étudions le comportement de l'azote, et plus particulièrement les processus de nitrification et de dénitrification dans l'estuaire de l'Escaut.

L'estuaire de l'Escaut convient particulièrement bien à une étude écophysiological des phénomènes bactériens liés à l'autoépuration. En effet, ce cours d'eau est largement pollué en amont d'Anvers par les déchets industriels et domestiques charriés par les égouts de cette ville et le Rupel. Dans cette zone, l'activité bactérienne de dégradation de la matière organique, très importante, consomme tous les oxydants disponibles : O_2 , NO_3^- (c'est le phénomène de dénitrification), $Fe(OH)_3$, $SO_4^{=}$. Plus en aval, par mélange de cette masse d'eau douce avec de l'eau de mer, la salinité augmente et provoque la flocculation des matières en suspension (Wollast 1973). Les phénomènes de régénération des oxydants consommés en amont se succèdent alors : oxydation des sulfures de fer, de l'ammonium (c'est le phénomène de nitrification) et enfin, réapparition de l'oxygène. Dans l'estuaire de l'Escaut, tous ces processus sont bien apparents, se succédant sur une distance d'environ 50 km en aval d'Anvers, et les relations entre eux y sont relativement faciles à mettre en évidence.

Notre étude de la nitrification et de la dénitrification s'intègre dans une étude complète de l'activité bactérienne dans l'estuaire de l'Escaut. Un modèle mathématique de l'influence de l'activité bactérienne sur la composition de l'eau de l'Escaut a été réalisé par Billen et Smitz (1975). Ce modèle, construit sur l'hypothèse d'un équilibre thermodynamique entre les divers couples oxydo-réducteurs susceptibles d'être impliqués dans des métabolismes bactériens, néglige les limitations cinétiques à la réalisation de cet équilibre. Il est particulièrement peu réaliste dans sa prévision de la nitrification : contrairement à ce qu'il prévoit, l'oxydation de l'ammoniaque en nitrate n'est jamais complète à cause de la dynamique particulière des populations de bactéries nitrifiantes que nous essayons précisément de modéliser. Notre modèle nitrification viendra donc compléter utilement le modèle thermodynamique de Billen et Smitz.

De plus, l'impact des apports de l'estuaire de l'Escaut sur l'eutrophisation de la Mer du Nord est abordé. En particulier, l'effet des différentes formes d'azote minéral sur le métabolisme du plancton marin a été étudié.

COMPORTEMENT DE L'AZOTE DANS L'ESTUAIRE DE L'ESCAUT.

1. NITRIFICATION.

a. Mesure de la nitrification

Une approche quantitative de la nitrification a été effectuée en réalisant tout au cours de l'année des mesures d'activité nitrifiante dans l'Escaut, de l'embouchure (km 0) à Dendermonde (km 120). La méthode employée ainsi que des profils de nitrate et d'activité nitrifiante sont rapportés et discutés dans l'annexe 1.

Simultanément aux mesures de nitrification, les paramètres physico-chimiques du milieu ont été déterminés. Ces mesures ne permettent cependant pas d'attribuer le déclenchement de la nitrification lors de l'auto-épuration du cours d'eau, à une augmentation de potentiel rédox, ni à une augmentation de l'oxygène dissous, comme le prévoient les considérations thermodynamiques.

b. Modélisation de la nitrification

Un modèle déterministe de la nitrification a été établi afin de quantifier le phénomène. Il prend en considération les limitations cinétiques à la réalisation du phénomène. Sa description complète, ainsi que quelques résultats préliminaires sont décrits dans l'annexe 2.

2. DENITRIFICATION.

La dénitrification, processus anaérobie de dégradation de la matière organique se produit dans la partie de l'estuaire en amont d'Anvers, lorsque l'oxygène est épuisé. Pour des situations estivales, lorsque la température est élevée, la dénitrification épuise tout le nitrate disponible.

Des mesures in situ de vitesse de dénitrification, en relation avec le profil de nitrate observé, sont décrites dans l'annexe 3.

L'évolution au cours du temps d'une eau d'Escaut d'amont enrichie en nitrate, ainsi que l'influence de la concentration en nitrate sur la cinétique de dénitrification y sont également rapportées.

MODELE DE L'ACTIVITE HETEROTROPHE DANS L'ESCAUT.

L'annexe n°4 décrit un modèle mathématique supposant un équilibre thermodynamique réalisé entre les différentes espèces chimiques présentes. Il rend compte de l'influence des phénomènes bactériens d'oxydo-réduction sur la composition des milieux naturels. L'activité hétérotrophe est utilisée comme une donnée d'entrée évaluée à partir des mesures d'incorporation de bicarbonate marqué à l'obscurité. Le coefficient de conversion est traité comme un paramètre ajustable à l'intérieur de certaines limites.

Deux critiques peuvent être adressées à cette manière de procéder.

1. Problème de l'évaluation de l'activité hétérotrophe.

Romaenko (1964) et Overbeck (1973) ont montré que le rapport entre ces deux mesures peut varier très fort selon les espèces bactériennes, la phase de croissance et les substrats disponibles. L'interprétation de l'incorporation de bicarbonate radioactif par les organismes hétérotrophes nécessite donc une étude détaillée.

Une détermination directe de l'activité bactérienne in situ par une autre méthode permettrait de déterminer de façon rigoureuse le coefficient de conversion et donc d'utiliser les nombreux profils d'incorporation de bicarbonate marqué mesurés ces trois dernières années dans l'estuaire de l'Escaut.

Des mesures d'incorporation et de respiration de substrats organiques marqués : acétate, lactate ont été entreprises. Ces expériences devraient être poursuivies en multipliant les substrats organiques afin d'approcher une mesure réelle de l'activité hétérotrophe totale.

2. Nécessité d'un modèle déterministe de l'activité hétérotrophe.

Un modèle de gestion de la qualité de l'eau de l'Escaut devrait nécessairement inclure un modèle reliant la charge organique à l'activité hétérotrophe. Ce n'est pas le cas du modèle décrit dans l'annexe 4 qui se contente de relier l'activité hétérotrophe à la qualité de l'eau.

Une étude de l'exigence en substrats organiques particuliers des différents métabolismes hétérotrophes et de la disponibilité de ces substances dans l'eau de l'Escaut éclaircirait le problème de l'interdépendance des différents métabolismes hétérotrophes et celui des étapes limitantes de la dégradation hétérotrophe de la matière organique. Elle pourrait donc constituer un point de départ pour l'établissement d'un modèle déterministe de l'activité hétérotrophe.

AMMONIFICATION DANS L'ESCAUT.

Dans la partie amont de l'estuaire de l'Escaut, toutes les mesures d'ammoniaques indiquent que l'importante dégradation de la charge organique qui s'y déroule (voir annexe 4) s'accompagne d'une consommation d'ammoniaque et non d'une production (ammonification). Diverses observations et expériences sont reprises dans l'annexe 5.

EUTROPHISATION DE LA MER DU NORD.

De nombreux arguments suggèrent que l'azote est un élément limitant pour la production primaire en Mer du Nord. Une augmentation de la concentration des composés azotés en mer risque donc de créer un déséquilibre entre production et consommation de la matière organique : c'est le phénomène d'eutrophisation.

L'Escaut rejette une quantité importante d'azote en Mer du Nord, sous forme nitrique ou ammoniacale dans des proportions déterminées par l'importance de la nitrification réalisée dans son estuaire.

Il est généralement admis que le phytoplancton peut employer le nitrate ou l'ammoniaque comme source d'azote, mais préfère la dernière si toutes deux sont disponibles. Diverses études (Eppley et al 1969, Bates 1976, Conway 1977) ont montré que la nitrate réductase, enzyme d'assimilation du nitrate, est réprimée en présence d'ammoniaque et induite lors de la croissance sur nitrate.

Une méthode plus directe d'évaluation de l'assimilation de nutriments azotés emploie des traceurs marqués à l'azote-¹⁵N (Dugdale et al 1965).

Simultanément à des mesures de nitrate réductase, des mesures d'assimilation d'azote-¹⁵N et de production primaire ont été réalisées

RESULTATS DES DOSAGES DE NITRATE REDUCTASE (NR)

De novembre à février , alors que la concentration en nutriments est élevée et que l'uptake est faible , la présence de NR n'est pas détectable par notre méthode, sauf pour quelques prélèvements effectués au large.

De mai à septembre, le phytoplancton contient des quantités significatives de NR. Alors que des taux indétectables sont parfois observés au large dans la Manche , la NR est en quantité d'autant plus importante qu'on se rapproche des côtes ou que l'on pénètre dans l'estuaire de l'Escaut ($40 \mu\text{M/l NH}_4^+$ à 35 km de l'embouchure).

L'absence de l'enzyme d'assimilation du nitrate est observée en hiver partout dans la zone côtière . A partir de mai, elle s'observe pour des masses d'eau du large.

Aucun seuil de concentration en NH_4^+ ne semble être responsable de la présence ou non de NR. Les plus fortes activités enzymatiques sont d'ailleurs mesurées dans l'Escaut .

BIBLIOGRAPHIE.

- BATES, S.S., 1976. Effects of light and ammonium on nitrate uptake by two species of estuarine phytoplankton. *Limnol. and Oceanogr.* 21 (2) 212-218.
- BILLEN, G. and SMITZ, J., 1975. A mathematical model of microbial and chemical oxydation-reduction processes in the Scheldt estuary. In *Math Modelsea, Mathematical models of continental seas, complementary results on the dynamic processes in the Southern Bight of the North Sea*. ICES CM 1975 C : 21. Hydrography committee, Fisheries improvement committee. pp 69-85.
- CONWAY, H.L., 1977. Interactions of inorganic nitrogen in the uptake and assimilation by marine phytoplankton. *Mar. Biol.* 39, 221-232.
- DUGDALE, V.A. and DUGDALE, R.C., 1965. Tracer studies of the assimilation of inorganic nitrogen sources. *Limnol. and Oceanogr.* 10, 53.
- EPPLEY, R.W., COATSWORTH, J.L. and SOLORZANO, L., 1969. Studies of nitrate reduction in marine phytoplankton. *Limn. and Oceanogr.*, 14, 184-195.
- OVERBECK, J. and DALEY, R.J., 1973. Some precautionary comments on the Romanenko technique for estimating heterotrophic bacterial production. *Bull. Ecol. Res. Comm. (Stockholm)* 17, 342-344.
- ROMANENKO, V.I., 1964. Heterotrophic CO₂ assimilation by bacterial flora of water. *Mikrobiol.* 33, 679-683.
- WOLLAST, R., 1973. Origine et mécanismes de l'envasement de l'estuaire de l'Escaut. Rapport de Synthèse. Recherches effectuées dans le cadre de l'étude de l'envasement de l'Escaut dirigée par le laboratoire de Recherches Hydroliques, Borgerhout. Ministère des Travaux Publics.